

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/000015

International filing date: 08 January 2005 (08.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 002 326.3  
Filing date: 16 January 2004 (16.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 22 March 2005 (22.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

10 2004 002 326.3

**Anmeldetag:**

16. Januar 2004

**Anmelder/Inhaber:**

Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich/DE

**Bezeichnung:**


Rotor

**IPC:**

H 02 K 1/22

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. März 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

  
Schärer



## Beschreibung

### Rotor

Die Erfindung betrifft einen Rotor, insbesondere einen Rotor zur Aufnahme von optischen, magnetischen und/oder mechanischen Sensoren. Die Erfindung betrifft ferner die Verwendung eines solchen Rotors als Chopperrad in einem Rückstreuungsspektrometer.

#### Stand der Technik

Als Rotor wird allgemein ein Läufer einer elektrischen Maschine bezeichnet. Bei Kraft- und Arbeitsmaschinen wird insbesondere der mit der Welle verbundene Teil, der gegebenenfalls die für die Energieumwandlung wichtigen Bauteile trägt, verstanden. Diese Teile sind beispielsweise die Laufschaufeln bei Strömungsmaschinen oder die Wicklungen bei elektrischen Maschinen. Bei Verschluss- oder Rückstreuungsanordnungen werden beispielsweise Rotoren als Chopper eingesetzt, die verschiedenen Aktoren aufnehmen können. Unter Aktoren sind im Rahmen dieser Erfindung beispielsweise optische, magnetische oder mechanische Sensoren, Filter, Reflektoren oder Strömungen von moderierenden Medien zu verstehen.

Bei einem Rückstreuungsspektrometer bewirkt die prinzipielle gute Energieauflösung nachteilig einen Mangel an Neutronenintensität. Um die Intensität zu erhöhen, kann der Neutronenstrahl an sich sehr schnell bewegenden Kristallen reflektiert werden. Bei genügend hohen Geschwindigkeiten der Kristalle, beispielsweise 300 m/s, tritt dann die Phasenraumtransformation ein, bei der zu langsame Neutronen beschleunigt und zu schnelle Neutronen abgebremst werden. Auf diese Weise kann die Neutronenintensität nennenswert gesteigert werden.

Bei dem Rückstreuспекrometer (RSSM) für den FRM-II in München wird beispielsweise ein Rotor als PST-Chopper eingesetzt, bei welchem es sich um eine massive kreisförmige Chopperscheibe handelt. Die äußere Umlaufkante ist in sechs gleichgroße Bereiche unterteilt. Jeder zweite Bereich ist mit Kristallen bestückt (siehe Figur 1). Die die Kristalle aufweisenden Bereiche (Kristallaufnahmen) der Chopperscheibe zeigen dabei einen größeren Radius, als die Bereiche ohne Kristalle. Die Bereiche ohne Kristalle übernehmen bei dieser Chopperscheibe somit die Funktion der Fenster zum Passieren der Neutronenstrahlen.

Bei den üblichen Rückstreuспекometern ergibt sich aus der mittleren Neutronenenergie und der vorgegebenen Geometrie der Anordnung ein maximaler Durchmesser für eine Chopperscheibe von ca. 130 cm. Für eine Geschwindigkeit der Kristalle von ca. 300 m/s muss das Chopperrad mit einer Drehzahl von ca. 4800 U/min rotieren.

Aufgrund der hohen Fliehkraft resultierenden sehr hohe Spannungen und entsprechende Materialbelastungen. Die Konstruktion eines dafür geeigneten Rotors (Choppers) werden sehr aufwändig, da dieser eine entsprechend hohe mechanische Belastbarkeit sowie eine geringe und vor allem gleichförmige Verformung am Umfang bei möglichst geringem Eigengewicht aufweisen sollte.

Alternativ zu einem massiven Vollscheibe ist auch ein Speichenrad (Felgen-Speichen-Rotor) als Chopper denkbar. Vorteilhaft weist ein Speichenrad gegenüber einer Vollscheibe ein deutlich geringeres Gewicht auf. Die Speichen nehmen vorteilhaft die Radialspannung auf, während die Felge die Umfangspannung aufzunehmen vermag. Nachteilig hat sich jedoch herausgestellt, dass die unvermeidbaren maximale Biegespannungen nur geringfügig unterhalb der Dauerfestigkeit des

eingesetzten Werkstoffs liegen.

5 Mit Hilfe von auf Kreisbahnen geführten Aktoren und/oder  
sonstigen passiven Elementen können neben Neutronen auch  
stoffliche Partikel, wie beispielsweise Sand, Pulver oder  
Gase, gelenkt und beeinflusst werden.

10 Die Anforderungen, die innerhalb der Rückstreuспекrometer  
an ein Chopperrad gestellt werden, lassen sich auch allge-  
mein auf Rotoren übertragen, die für hohe Umdrehungszahlen  
ausgelegt sind.

#### Aufgabe und Lösung

15 Aufgabe der Erfindung ist es, einen leichten Rotor insbeson-  
dere zur Aufnahme von Aktoren zu schaffen, der auch bei  
hohen Drehzahlen eine nur geringe und vor allem eine mög-  
lichst gleichmäßige Verformung der Kreisbahnführung auf-  
weist. Es ist ferner Aufgabe der Erfindung, einen solchen  
20 Rotor zu schaffen, der als Chopperscheibe in einem Rück-  
streuспекrometer eingesetzt werden kann und die korrekte  
Funktion der auf dem Rotor angebrachten Aktoren, insbesonde-  
re der Graphitkristalle ermöglicht.

25 Die Aufgaben der Erfindung werden gelöst durch einen Rotor  
mit der Gesamtheit an Merkmalen gemäß Hauptanspruch sowie  
durch die Verwendung eines Rotors gemäß Nebenanspruch. Vor-  
teilhafte Ausführungen des Rotors und der Verwendung des  
Rotors insbesondere als Chopperscheibe finden sich in den  
30 jeweils rückbezogenen Ansprüchen.

#### Gegenstand der Erfindung

35 Der erfindungsgemäße Rotor ist für den schnellaufenden  
Einsatz im Vakuum oder verdünnten Gasen konzipiert worden.

Die spezielle Geometrie des Rotors bewirkt vorteilhaft eine deutliche Spannungsreduktion und in der Regel eine gleichmäßigere Verformung in den Bereichen Umfangs des Rotors im Vergleich zu herkömmlichen Rotoren.

5

Einerseits führt die Segmentierung des Rotors und die Aussparungen innerhalb der Rotorsegmente zu einer gewünschten Gewichtsreduktion, andererseits wird durch die spezielle Anordnung und Ausgestaltung der Aussparungen eine Optimierung der Verformung im Einsatz möglich. Insbesondere wird diese Wirkung bei hoher Fliehkraftentwicklung bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten im Grenzbereich des Materials erzielt.

10

15

Der erfindungsgemäße Rotor hat insbesondere die Funktion Aktoren aufzunehmen und in einer Kreisbahn zu führen, die im folgenden Wirkkreis genannt wird. Beispielsweise wird der Rotor als Chopperrad in einem Rückstreuспекrometer eingesetzt. Bei einer Kreisbahnführung mit großem Wirkradius können sehr hohe Umfangsgeschwindigkeiten auftreten, die regelmäßig zu durch Fliehkraft verursachte hohe Spannungen führen.

20

25

Der erfindungsgemäße Rotor umfasst wenigstens ein an der Nabe angeordnetes Rotorsegment. Als Rotorsegment im Rahmen dieser Erfindung wird ein Teil einer Vollscheibe verstanden, der von der Verbindung mit der Nabe bis zum Wirkkreis reicht, aber keine durchgängige Felge aufweist. Bei einem Rotor mit mehreren Segmenten sind diese durch nach außen offene Aussparungen getrennt. Die Segmente sind untereinander im Bereich der Nabe verbunden.

30

35

Das Rotorsegment selbst weist wenigstens eine abgeschlossene Aussparung auf, die derart angeordnet sind, dass das die Aussparung umgebene Material in Form von Speichen vorliegt.



Unter Speichen werden üblicherweise stabförmige Radteile verstanden, die eine Nabe und eine Felge verbinden. Im Rahmen dieser Erfindung soll der Begriff Speiche jedoch nicht nur auf radial stabförmige Ausführungen beschränkt sein.

5 Unter Speichen im Sinne dieser Erfindung sind allgemein materialdurchgängige Bereiche von der Narbe bis zur äußeren Umfangsbegrenzung (Wirkkreis) des Rotorsegmentes zu verstehen. Die Geometrie der Aussparung basiert auf einem Kreis und weist eine stetig verlaufende Umfangslinie auf. Die  
10 Typische Geometrien der Aussparungen sind insbesondere Ovale oder Ellipsen. Die großen und glatten Verrundungsradien der Aussparungen minimieren die Randspannungen und gleichen sie an die Spannungen in den Speichen an.

15 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Rotors weist innerhalb eines Rotorsegmentes zwei geschlossene Aussparungen auf. Das Rotorsegment zeigt dann insbesondere eine III-förmige Struktur. Unter geschlossenen Aussparungen im Sinne dieser Erfindung sind ausdrücklich keine Bohrungen mit umfasst, die  
20 lediglich einer Gewichtsreduktion des Rotors dienen. Im Unterschied zu einem Speichen-Felgen-Rotor weist der erfindungsgemäße Rotor mit einem oder mehreren Rotorsegmenten keine durchgehende Felge auf.

25 Beim Betrieb eines Rotors mit nur einem Rotorsegment muss mit einem Gegengewicht entsprechend ausgewuchtet werden. Vorteilhafter ist daher eine Anordnung eines Rotors mit wenigstens zwei, drei oder mehr Rotorsegmenten, die regelmäßig oder auch unregelmäßig um die Nabe verteilt sein können.

30 Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung ist ein Rotor, bei dem die Rotorsegmente gleich verteilt um die Nabe angeordnet sind. Wichtig ist in jedem Fall, dass bei der Anordnung regelmäßig keine Unwucht auftritt. Die einzelnen Rotorsegmente können dabei sowohl verschiedene als auch identische  
35

Formen aufweisen. Insbesondere hat sich eine jeweils spiegelsymmetrische Form für die einzelnen Rotorsegmente als vorteilhaft herausgestellt.

5 Eine besondere Ausführungsform sieht einen Rotor mit Rotorsegmenten mit einer spiegelbildlichen III-förmigen Struktur vor. Die drei Speichen eines III-Rotorsegments sind dabei weitgehend parallel angeordnet. Diese Ausgestaltung bewirkt vorteilhaft, dass vorwiegend Zug- und nur reduziert Biege-  
10 spannungen auftreten, wobei die letztgenannten besonders kritisch sind.

Als Materialien für den Rotor können neben Metallen und seinen Legierungen auch Keramiken, Glas oder andere heute  
15 übliche Werkstoffe, wie beispielsweise Faserverbunde eingesetzt werden. Dies ist insbesondere deshalb möglich, weil die bei hohen Drehzahlen auch auftretenden Biegespannungen bei dem erfindungsgemäßen Rotor deutlich geringer ausfallen, als bei vergleichbaren Rotoren, die aus der Literatur be-  
20 kannt sind.

Basierend auf dem Modell einer Scheibe gleicher Spannung kann der erfindungsgemäße Rotor ein vorteilhaftes Dickenprofil aufweisen, welches in Abhängigkeit von der gewählten  
25 Geometrie nochmals zu einer weiteren Reduktion der Spannungen und somit zu einer gleichmäßigeren Verformung während des Einsatzes des Rotors führt. Beispielsweise kann der Rotor ein sich radial verjüngendes Profil aufweisen. Vorteilhaft werden zusätzlich die Aussparungs- und Segmentränder in der Dicke weiter spannungsoptimiert, um sich dem  
30 Ideal einer Scheibe gleicher Spannung anzunähern.



Die Vorteile des erfindungsgemäßen, segmentierten Rotors sind im folgenden noch einmal zusammengefasst.

- Im Verhältnis zu einem vergleichbar großen Rotor in Form einer Vollscheibe ist er deutlich leichter; dadurch ergibt sich auch ein geringerer Lagerungsaufwand.
- Er weist bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten eine gleichmäßigere Verformung im Bereich der Kreisbahnführung im Verhältnis zu einem Felgen-Speichen-Rotor auf.
- Es werden größere Verrundungsradien möglich, die regelmäßig Spannungsspitzen verringern.
- Die Biegespannungen in Teilbögen der Felge, wie sie üblicherweise bei einem Speichen-Felgen-Rotor auftreten, fallen beim segmentierten Rotor weg.
- Die Biegespannungen in den Speichen eines Speichen-Felgen-Rotors werden durch Neuordnung in dem segmentierten Rotor deutlich reduziert; damit entsteht eine betont zugbelastete Form, die vorteilhaft auch andere Rotormaterialien wie Keramik oder Glas ermöglichen.

Mit diesem erfindungsgemäßen Rotor werden folgende Verbesserungen insbesondere im Grenzbereich der Materialbelastbarkeit gegenüber dem Stand der Technik erzielt:

- bei gleichen Randbedingungen sind höhere Drehzahlen möglich,
- bei gleichen Randbedingungen wird der Sicherheitsfaktor gegenüber Versagen deutlich erhöht,
- die 1. Eigenfrequenz steigt, wodurch allgemein die Lagerbelastungen besser kontrollierbar sind insbesondere Magnetlager besser steuerbar sind.

Damit ist es nunmehr möglich, Rotoren für hochtourig Einsätze zu schaffen, die einen deutlich höheren Sicherheitsfaktor aufweisen, als bislang möglich war, und/oder die deutlich höhere Drehzahlen erreichen könne, ohne dass die Sicherheit

gegen Versagen herabgesetzt wird. Damit wird möglicherweise auch der Einsatz von Materialien möglich, die bislang aus Sicherheitsgründen nicht ohne weiteres in Frage kamen.

5 Eine besonders vorteilhafte Verwendung des erfindungsgemäßen Rotors ist der Einsatz in einem Rückstreuungsspektrometer. Hier werden Chopperscheiben mit einem Durchmesser bis zu 1,5 m benötigt, die je nach Radius Drehzahlen von mehr als 4000 pro Minute, insbesondere von mehr als 5000 pro Minute aushalten müssen, um beispielsweise eine erforderliche Umfangsgeschwindigkeit von mehr als 300 m/s zu erreichen. Es sind für die Zukunft aber auch schon Scheibendurchmesser bis zu 4 m und Umfangsgeschwindigkeiten von bis zu 600 m/s angedacht.

15

#### Spezieller Beschreibungsteil

Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels sowie von Figuren näher erläutert, ohne dass der Gegenstand der Erfindung dadurch beschränkt wird.

Es zeigen die

Figur 1: Chopperanordnung des Rückstreuungsspektrometers (RSSM) für den FRM-II Reaktor in München

Figur 2: Darstellung bekannter Rotoren, insbesondere

25

- a) Rotor als Vollscheibe,
- b) Rotor als Felgen-Speichenrad,
- c) Segmentierter Rotor ohne Felge.

Figur 3: Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Rotors mit

30

- a) einem symmetrischen Rotorsegment,
- b) zwei gleichförmig um eine Nabe angeordneten symmetrischen Rotorsegmenten,
- c) drei gleichförmig um eine Nabe angeordneten symmetrischen Rotorsegmenten.

Für die Figuren gilt die nachfolgende Legende:

- 1 Nabe
- 2 fiktiver Kreisumfang (Wirkkreis)
- 3 Vollscheibe
- 4 Felge
- 5 Speichen
- 6 abgeschlossene Aussparungen
- 7 Rotorsegment
- 8 nach außen hin offene Aussparungen

In der Figur 1 ist die Chopperanordnung des Rückstreuungsspektrometers (RSSM) für den FRM-II Reaktor in München dargestellt. Deutlich zu erkennen ist die Choppervollscheibe. An deren äußerem Rand sind segmentweise die Graphitkristalle mit einer entsprechenden Abschirmung angeordnet.

Die Figur 2 zeigt schematisch Rotoren, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind. In Figur 2 a) ist ein Rotor aus Vollmaterial als eine Vollscheibe 3 dargestellt. Der Rotor ist üblicherweise an einer Nabe 1 angeordnet. In Figur 2b) ist ein typisches Felgen-Speichenrad mit einer durchgehenden Felge 4 dargestellt, welches ebenfalls ein Rotor ist. Anstelle des Vollmaterials sind eine Vielzahl von einzelnen geschlossenen Aussparungen 6 vorgesehen, die radialsymmetrisch angeordnet sind. Zwischen den Aussparungen sind jeweils die Speichen angeordnet. Die in Figur 2c) gezeigte Ausführungsform kann ebenfalls als ein Rotor angesehen werden. Dieser Rotor zeigt keine geschlossene Felge. Nach außen offenen Aussparungen 8 trennen das Rotormaterial in einzelne Segmente 7, die in diesem Fall jedoch noch durch eine massive Scheibe mit dem Radius  $r$  zusammengehalten werden.

In Figur 3 sind demgegenüber verschiedene Ausführungsformen der Erfindung dargestellt. Die dargestellten Rotorsegmente 7 sind jeweils aus Vollmaterial und weisen jeweils wenigstens

12

zwei Aussparungen 6 auf. Die Aussparungen 6 sind derart angeordnet, dass das verbleibende Material des Rotorsegments 7 die Struktur von drei Speichen 5 aufweist. Unter Speichen sind die materialdurchgängigen Bereiche von der Nabe 1 bis zum äußeren Rand des Rotorsegments (Wirkkreises) 2 zu verstehen. Die in den Figuren 3a) bis 3c) gezeigten Rotorsegmente 7 weisen jeweils eine Spiegelsymmetrie auf, wobei die Spiegelachse stets durch die Nabe verläuft.

Figur 3a zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Rotors mit nur einem Rotorsegment. Der Rotor weist zum Ausgleich des Gewichtes des einen Rotorsegments in diesem Fall ein Gegengewicht auf der anderen Seite der Nabe auf.

In Figur 3b ist ein Rotor mit zwei Rotorsegmenten dargestellt. Dies können, müssen aber nicht symmetrisch um die Nabe angeordnet sein. In dem in 3b9 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die einzelnen Rotorsegmente gleichmäßig, das heißt um  $180^\circ$  versetzt um die Nabe angeordnet. Da es sich um identische Rotorsegmente handelt, ist kein Ausgleichsgewicht erforderlich.

Gleiches gilt für den Rotor in der Figur 3c). Die drei identischen Rotorsegmente sind jeweils um  $120^\circ$  versetzt um die Nabe angeordnet.

### Patentansprüche

---

1. Rotor für den schnellaufenden Einsatz geeignet, gekennzeichnet durch wenigstens ein an der Nabe (1) angeordnetes Rotorsegment (7), welches wenigstens eine abgeschlossene Aussparung (6) zur Verringerung der bei einem Einsatz des Rotors auftretenden Spannungen aufweist.  
5
2. Rotor nach Anspruch 1, bei dem das Segment wenigstens zwei abgeschlossene Aussparungen derart aufweist, dass das die Aussparungen umgebende Material in Form von drei Speichen (5) vorliegt.  
10
3. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, bei dem die abgeschlossene Aussparung eine stetige Umfangslinie aufweist.
4. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Rotorsegment (7) eine Spiegelsymmetrie aufweisen, deren Spiegelachse durch die Nabe (1) verläuft.  
15
5. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Speichen (5) eines Rotorsegmentes (7) weitgehend parallel angeordnet sind.
6. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Rotorsegment (7) jeweils an seinem äußeren Ende kreissegmentförmig ausgebildet ist.  
20
7. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit wenigstens drei Rotorsegmenten (7).
8. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Rotorsegmente (7) gleichmäßig verteilt um die Nabe (1) angeordnet sind.  
25
9. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Rotorsegmente (7) jeweils identisch sind.

10. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die Rotorsegmente (7) mit einem spannungsoptimierten radialen Dickenprofil ausgebildet sind.
- 5 11. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 10 mit einem Wirkradius von mehr als 500 mm, insbesondere von mehr als 1000 mm.
12. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, mit Rotorsegmenten (7) umfassend Metall, Keramik, Glas oder Verbundmaterialien.
- 10 13. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 12, der für Umfangsgeschwindigkeiten von mehr als 300 m/s, insbesondere für mehr als 400 m/s geeignet ist.
14. Verwendung eines Rotors nach einem der Ansprüche 1 bis 13, zur Aufnahme von wenigstens einem Aktor.
- 15 15. Verwendung nach Anspruch 14 als Chopperscheibe zur Aufnahme wenigstens eines Graphitkristalls für ein Rückstreuungsspektrometer.



## Zusammenfassung

### Rotor

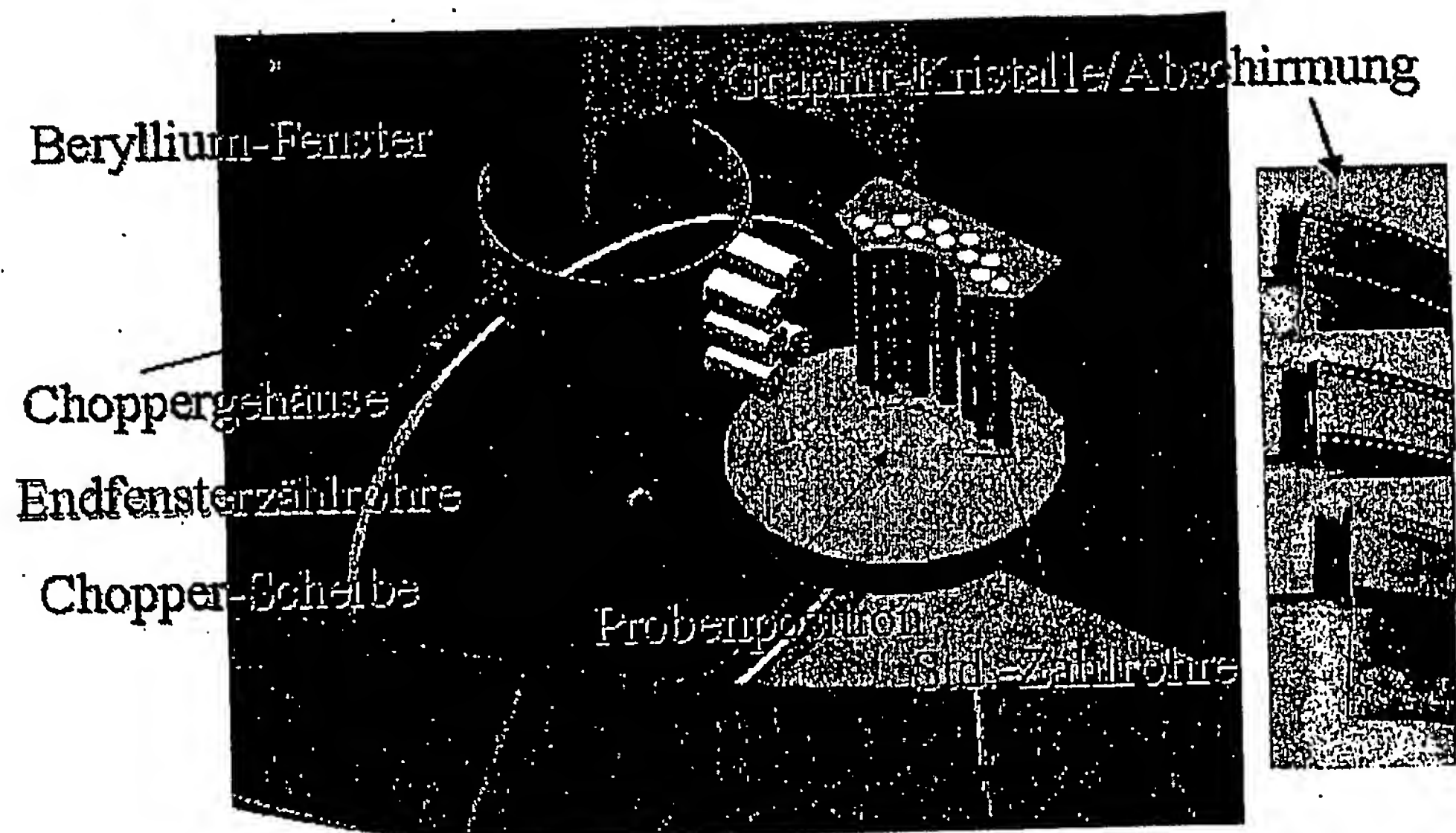
---

Der erfindungsgemäße Rotor verbindet die Vorteile eines Vollrades, welches eine nur geringe bzw. gleichmäßige Formänderung im Betrieb (Dehnungsverschiebung) im Bereich der Kreisbahnführung aufweist, mit denen eines Speichen-Felgen-Rotors, welcher aufgrund seines geringen Gewichts eine einfache Lagerung ermöglicht. Zudem eröffnet der Rotor aufgrund seiner stärker zugbelasteten als biegebelasteten Ausrichtung eine breitete Palette an Rotormaterialien.

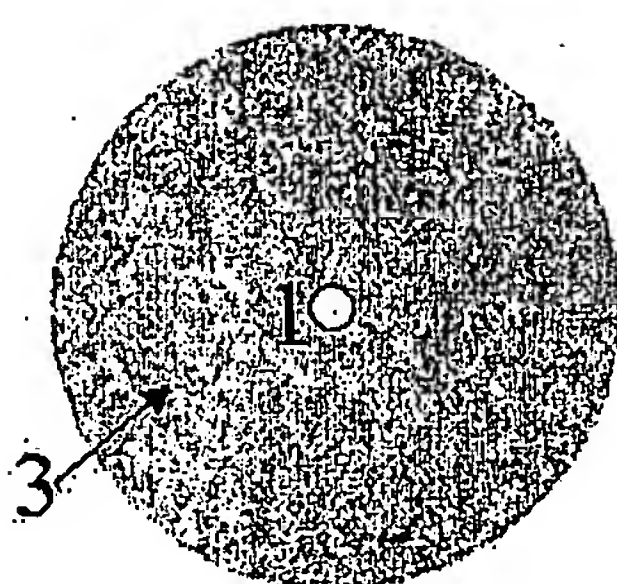
Der Rotor weist dabei wenigstens ein an der Nabe angeordnetes Segment umfassend wenigstens eine abgeschossenen Aussparung auf. Eine vorteilhafte Ausführung sieht einen Rotor mit wenigstens drei gleichmäßig verteilt angeordnete Rotorsegmente vor, deren Rotorsegmente jeweils zwei Aussparungen derart aufweisen, dass die sie umgebenen Materialbereiche in Form von drei nahezu parallel angeordneten Speichen vorliegen.

Der erfindungsgemäße Rotor ist vorteilhaft zur Aufnahme von Graphitkristallen als Chopperscheibe für ein Rückstreuungsspektrometer geeignet.

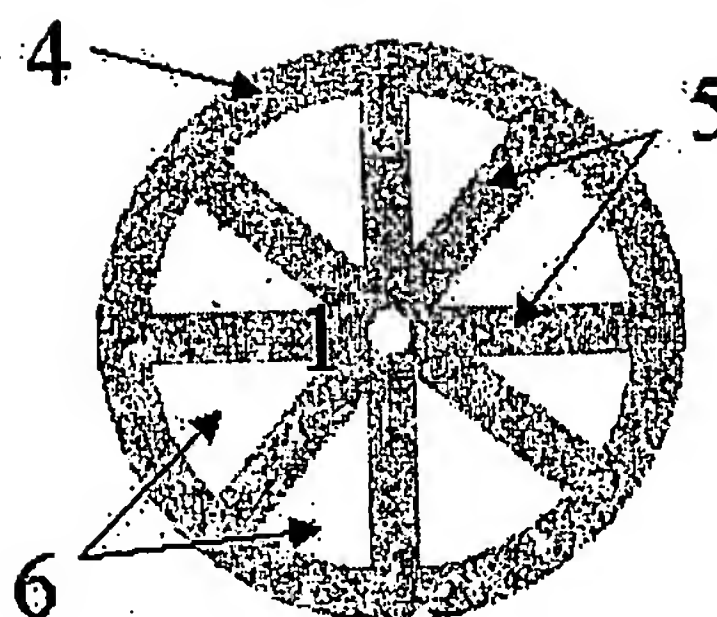
Figur 1 / 3



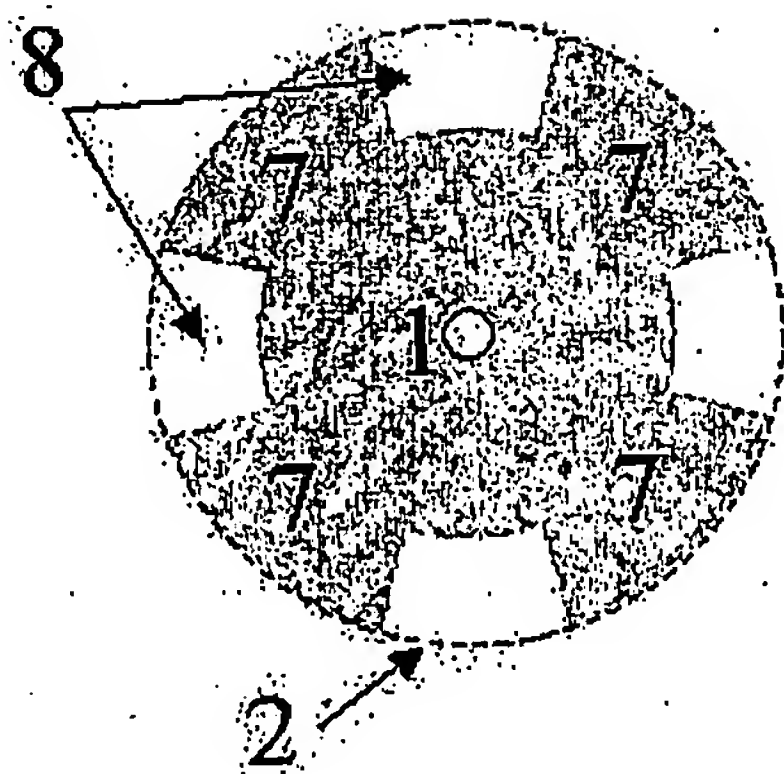
Figur 1



Figur 2a

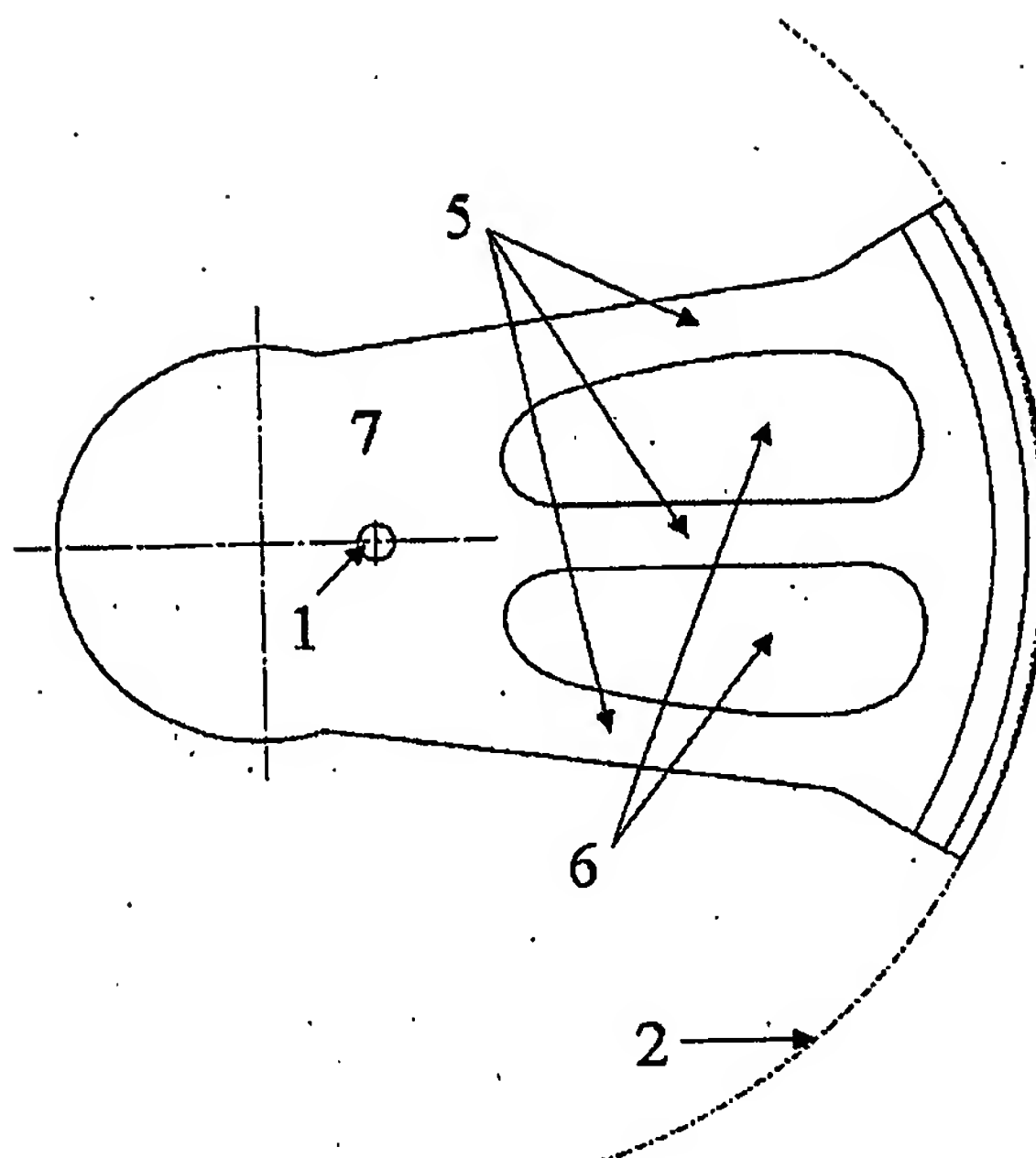


Figur 2b

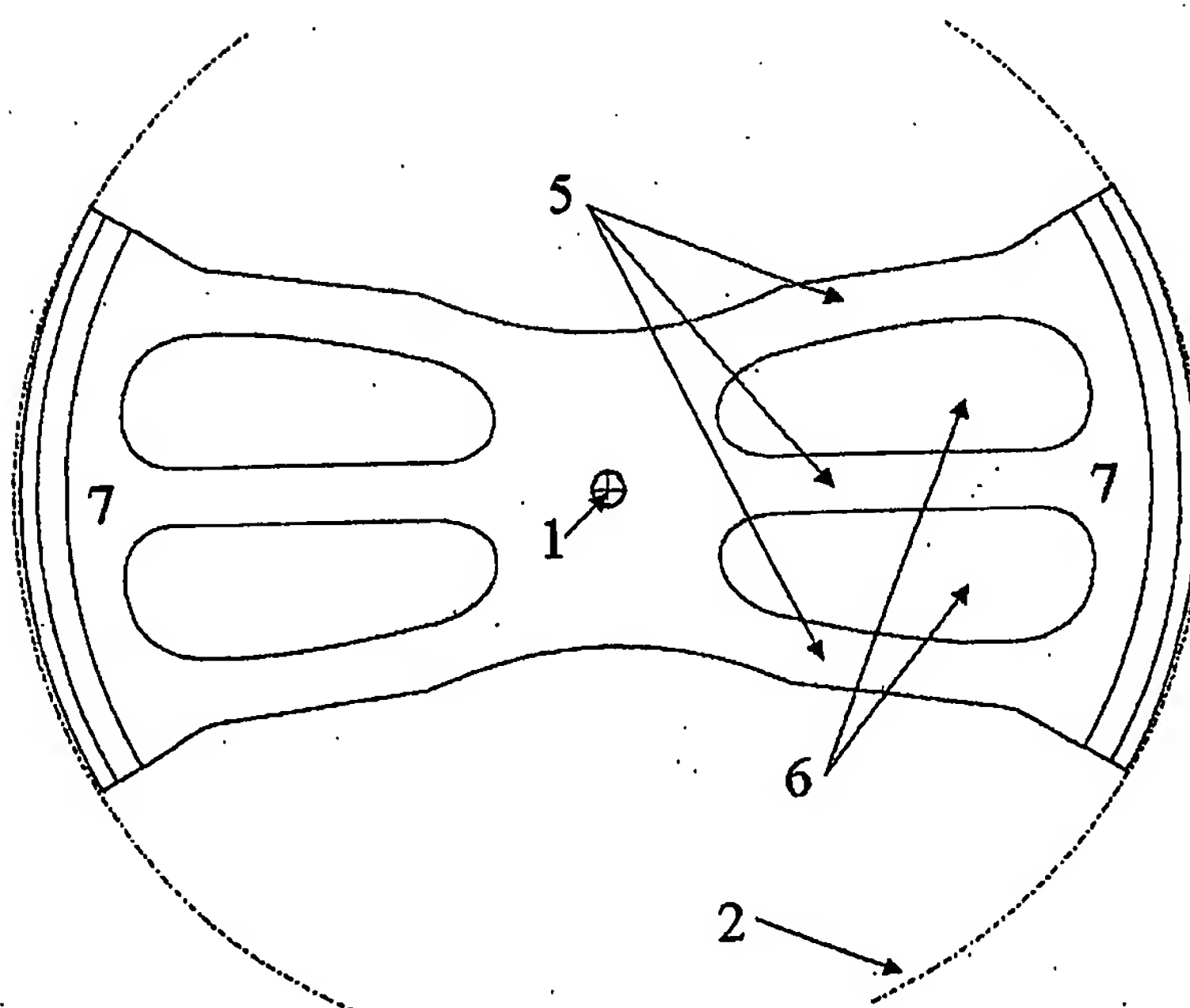


Figur 2c

Figur 2 / 3

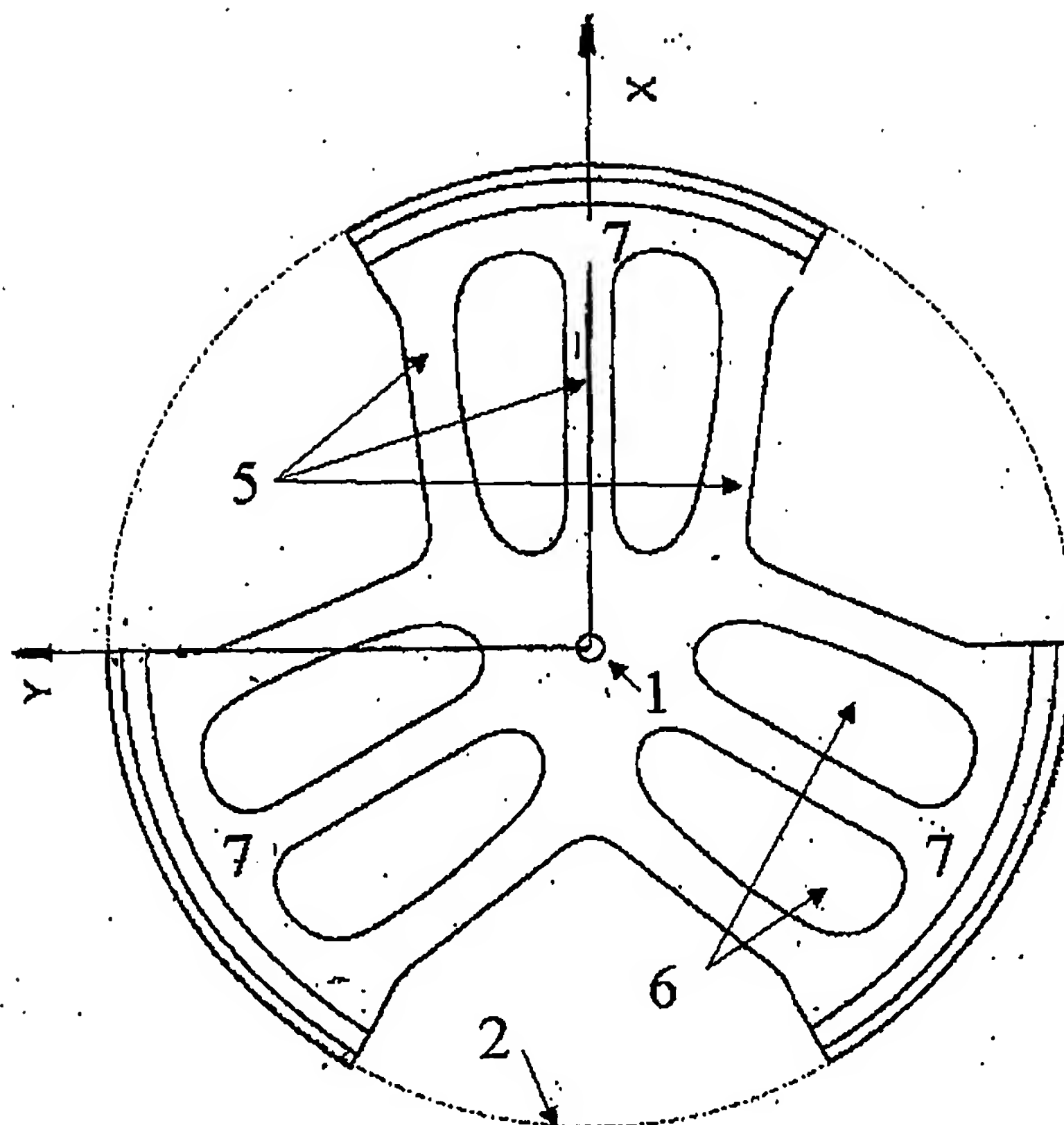


Figur 3a



Figur 3b

Figur 3 / 3



Figur 3C